Wiatraki i zastosowanie ich do popędu elektrycznego.

Napisał **Stanisław Wysocki**, inżynier.

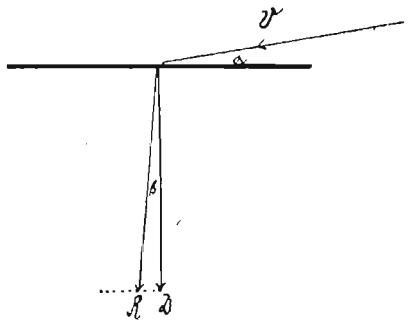
(Ciąg dalszy do str. 499 w № 42 r. b.).

III.

Teorya wiatraków prof. la Cour'a (parcie na płaszczyznę; praca; płytki wklęsłe; śmigi wiatraka; płaszczyzny oporu; ilość śmig; budowa śmigi; opis wiatraka wzorowego; trudny rozpęd; śmigi ruchome; wiatraki wielośmigowe, ich moc; regulacya; stery samoczynne).

Prof. la Cour w sprawozdaniu ze swych badań, przeprowadzonych w stacyi doświadczalnej w Askor, podaje nową teoryę wiatraków, opartą na wynikach własnych doświadczeń. Znana powszechnie teorya analityczna wiatraków, powtórzona

Parcie wiatru na płytkę.



Rys. 2.

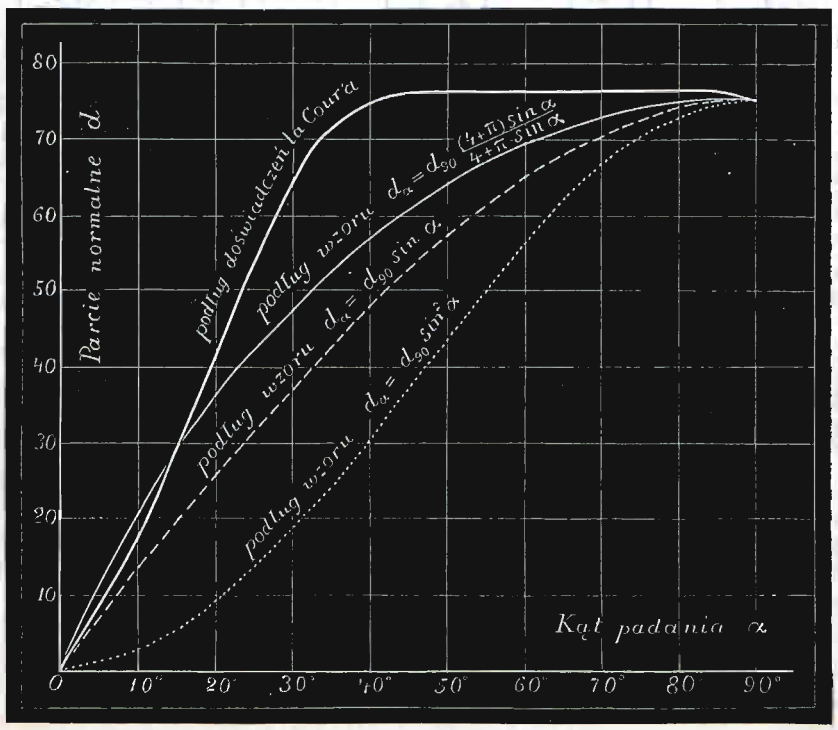
między innemi w podręczniku Neumann'a „Die Windkraftmaschinen", w „Hütte" (wyd. 18-te, t. I, str. 263) i w „Techniku" (t. I, str. 309), wychodzi z założenia, że parcie wiatru na śmigę udziela się tej ostatniej z siłą proporcyonalną do wstawy kąta pochylenia, a następnie przy pomocy prawa równoległoboku sił wyprowadza wzory trygonometryczne na najkorzystniejsze kąty pochylenia płaszczyzn śmig i na moc wiatraków. Inaczej prof. la Cour. Doświadczenia jego zbijają na samym wstępie podstawę dawnego rachunku i dlatego cała teorya musi być przeprowadzona drogą wykreślną. Podamy tu w streszczeniu główne przesłanki jego teoryi.

Parcie jakie wiatr wywiera na płaszczyznę mierzone było specyalnym przyrządem przy sztucznym wietrze. Sprawdzono przedewszystkiem znane od dawna prawa, że siła ciśnienia R wzrasta proporcyonalnie do powierzchni F i do kwadratu prędkości wiatru v

$$R = r \,.\, F v^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Następnie zmieniano kierunek wiatru względem płaszczyzny i mierzono parcie normalne (t. j. prostopadłe do płaszczyzny)—D. Przy zmienianiu kąta padania α (rys. 2) od 0^0 do 90^0, parcie normalne wzrasta, osiąga maximum przy 45^0, zatrzymuje tę samą wielkość do 84^0 i spada powoli. Okazuje się, iż wbrew wszelkim przewidywaniom ciśnienie nie jest najwyższe przy 90^0 i że nie jest proporcyonalne ani do drugiej potęgi wstawy (jak przypuszczał Newton), ani do pierwszej (podług Lössl'a). Więcej zbliżone do rzeczywistości wyniki, choć również niedokładne, daje wzór Rayleigh'a i Gerlach'a [1]), jak to widać z zestawienia odpowiednich wykresów (rys. 3).

Parcie normalne w zależności od kąta padania.



Rys. 3.

Parcie wypadkowe czyli najwyższe R nie wypada w kierunku prostopadłym do płaszczyzny, lecz pochyłym względem normalnej o kąt β. Zależność pomiędzy D i R wyraża równanie (rys. 2)

$$D = R \cos \beta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

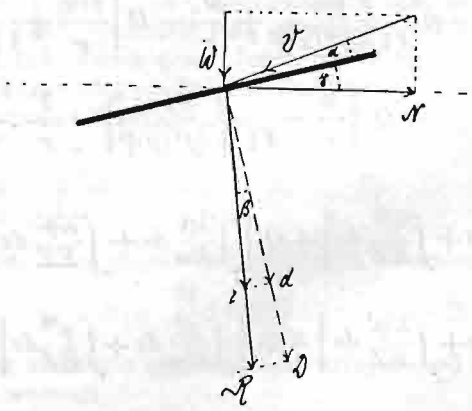
Kąt β mierzono specyalnym przyrządem przy rozmaitych kątach padania α. Gdy α wzrasta od 1^0 do 90^0, β szybko spada z 34^0 do 0^0 (tab. V).

Tablica V.

Kąt padania α	Parcie normalne d na 1 mm^2 przy prędkości wiatru 1 m/sek., w g	Kąt β
1^0	1	34^0
2^0	2,4	22^0
3^0	4,0	14^0
5^0	7,8	9^0
7^0	11,6	$6^0 30'$
10^0	18,0	$4^0 40'$
15^0	28,6	$3^0 20'$
20^0	41,4	$2^0 30'$
25^0	53,8	$1^0 50'$
30^0	65,2	$1^0 20'$
40^0	75,0	1^0
50^0	76,6	$0^0 40'$
60^0	76,6	$0^0 30'$
70^0	76,6	—
80^0	76,6	—
85^0	75,4	—
88^0	75,0	—
90^0	75,0	0^0

Zbadawszy drogą doświadczalną parcie d i kąt β, możemy przystąpić do obliczenia **pracy**. Oznaczmy przez R — parcie wypadkowe na powierzchnię F przy prędkości wiatru W w g.

Płytka w ruchu.



Rys. 4.

r — parcie wypadkowe na powierzchnię 1 m^2 przy prędkości wiatru 1 m/sek, w g.

D — parcie normalne na powierzchnię F przy prędkości wiatru W w g.

[1]) $D_\alpha = D_{90^0} \frac{(4+\pi)\sin\alpha}{4+\pi\sin\alpha}$ (por. „Hütte" wyd. 18-te, t. I, str. 262 i „Technik" t. I, str. 307).

d — parcie normalne na powierzchnię 1 m^2 przy prędkości wiatru 1 m/sek w g.

W — rzeczywista prędkość wiatru w m/sek.

v — względna prędkość wiatru (przy przesuwaniu płytki) w m/sek.

r — prędkość przesuwania płytki, względnie prędkość obwodowa części śmigi przy prędkości wiatru W w m/sek.

n — prędkość przesuwania płytki lub części śmigi przy $W=1$ w m/sek., względnie stosunek prędkości N do W:

$$n = \frac{N}{W} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3).$$

F — powierzchnia płytki wzgl. śmigi w m^2.

A — praca wykonana w ciągu 1 sek. przez płytkę wzgl. śmigę o powierzchni F przy prędkości wiatru W w gm/sek.

a — praca jak wyżej lecz przy $W = 1$ w gm/sek.

α — kąt padania pomiędzy kierunkiem v a płytką wzgl. śmigą.

β — kąt pomiędzy kierunkiem parcia wypadkowego r a normalnego d.

γ — kąt pochylenia płytki wzgl. śmigi do kierunku przesuwania płytki N.

Przy przesuwaniu płytki działa na nią wypadkowa siła wiatru o prędkości względnej v

$$v = \sqrt{W^2 + N^2} \quad . \; . \; . \; . \quad (4).$$

Praca

$$A = R \cos \sphericalangle (R\,N) \,.\, N \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (5).$$

przyczem, jak widać z rys. 4

$$\sphericalangle (R, N) = 90^0 - \gamma + \beta. \quad . \; . \; . \; . \quad (6).$$

Z równań (1), (2), (3), (4), (5) i (6) otrzymujemy wzór ostateczny

$$A = d\,(1 + n^2)\,n\,W^3 F \frac{\cos(90^0 - \gamma + \beta)}{\cos \beta} \quad . \; . \quad (7).$$

Podług tego wzoru obliczono dla płytek płaskich pracę a przy rozmaitych prędkościach n i rozmaitych kątach γ (tabl. VI).

Tablica VI.

Praca a	Kąt pochylenia γ								
	$2\frac{1}{2}^0$	$7\frac{1}{2}^0$	10^0	$12\frac{1}{2}^0$	20^0	30^0	40^0	50^0	70^0
Prędkość n									
0,2	0,6	2,0	2,8	3,4	5,3	7,8	9,7	9,7	2,8
0,6	2,1	7,4	10,1	12,6	19,7	24,6	19,3	9,1	—
1,0	4,2	16,4	21,8	26,7	33,6	25,7	8,1	—	—
1,4	6,3	25,7	32,4	36,7	35,9	13,3	—	—	—
1,8	5,7	31,5	38,2	40,8	31,4	—	—	—	—
2,2	3,6	34,1	40,4	41,8	15,6	—	—	—	—
2,6	—	34,4	40,0	39,0	—	—	—	—	—
3,0	—	32,7	34,8	23,5	—	—	—	—	—
3,4	—	26,7	17,9	5,3	—	—	—	—	—
3,8	—	15,1	3,8	—	—	—	—	—	—

Najwyższa zatem praca a wynosi 41,8 gm/sek.

Dla porównania przeprowadzono te same doświadczenia z **płytkami wklęsłemi**. Okazało się, że kierunek parcia wypadkowego r przy płytkach wklęsłych po większej części wypada z przeciwnej strony normalnej d, innemi słowy, kąt β jest ujemny, a kąt $\sphericalangle (R, N)$ znacznie mniejszy niż przy płaszczyznie. Ze wzoru (5) widać, że zmniej-

Płytka wklęsła.

Rys. 5.

szenie kąta $\sphericalangle (R, N)$ wpływa na powiększenie pracy. La Cour przeprowadził badania nad rozmaitemi płytkami i znalazł, że pod każdym względem najodpowiedniejsza z nich jest płytka zgięta na $^1/_4$ swej długości, gdy strzałka wynosi $4^1/_2$% cięciwy (rys. 5), czyli

$$\overline{AB} = \tfrac{1}{4}\,(\overline{AB} + \overline{BC}) \qquad \overline{BD} = 0{,}045\,\overline{AC}.$$

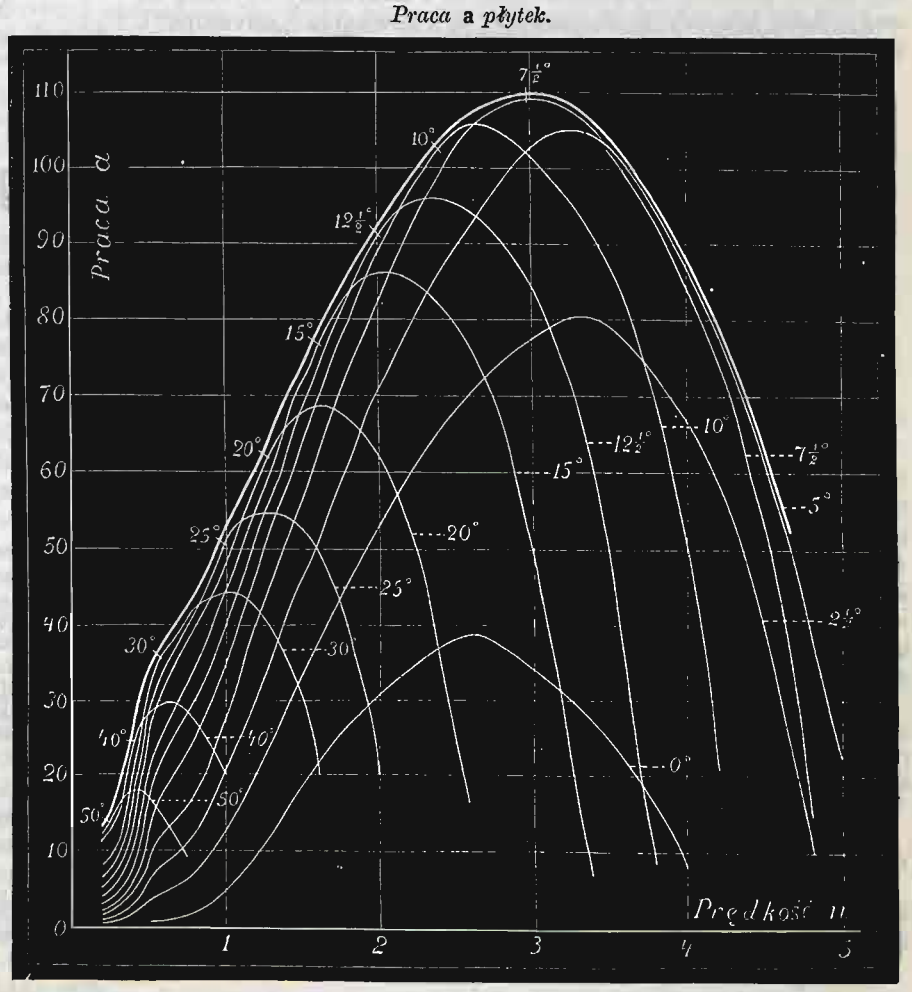
Oto wyniki doświadczeń nad temi płytkami (tabl. VII).

Tablica VII.

Kąt padania α	Parcie normalne d na 1 mm^2 przy prędkości wiatru 1 m/sek., w g	Kąt β
1^0	8,6	-15^0
3^0	13,4	-10^0
5^0	18,7	-6^0
10^0	31,3	$-1^0\,50'$
15^0	43,8	$0^0\,25'$
20^0	54,7	$1^0\,40'$
25^0	64,1	$2^0\,30'$
30^0	73,4	$2^0\,45'$
40^0	84,4	$2^0\,15'$
50^0	79,7	$1^0\,30'$
60^0	73,5	1^0
70^0	73,5	$0^0\,31'$
80^0	73,5	$0^0\,11'$
90^0	73,5	0^0

Parcie normalne przy zmianie kąta padania (t. j. kąta pomiędzy kierunkiem wiatru a cięciwą płytki) od 0^0 do 90^0 wzrasta,

Praca a płytek.



Rys. 6.

osiąga maximum przy 40^0, spada, a od 60^0 do 90^0 utrzymuje się na jednej wysokości. Kąt β zaś spada z -15^0, przechodzi przez 0^0, osiąga $+2^0\,45'$ i znów wraca do 0^0.

Podług tych danych i podług wzoru (7) wyliczono pracę a, jaką wykonywa płytka zgięta przy rozmaitych kątach pochylenia γ i rozmaitych prędkościach n. Wyniki obliczeń zestawione są w tabl. VIII i na rys. 6 zapomocą wykresów.

Tablica VIII.

Praca a	Kąt pochylenia γ								
	$2\frac{1}{2}^0$	$7\frac{1}{2}^0$	10^0	$12\frac{1}{2}^0$	20^0	30^0	40^0	50^0	70^0
Prędkość n									
0,2	0,7	2,1	2,7	3,4	5,4	8,6	11,4	11,5	5
0,5	3,9	9,9	13,2	16,6	26,1	31,6	28,4	17,4	—
1,0	13,1	28,8	35,1	39,7	49,1	44,3	21,1	—	—
1,4	29,4	51,3	58,6	63,8	65,5	34,7	—	—	—
1,8	45,7	72,7	79,9	82,6	66,6	—	—	—	—
2,2	59,8	90,6	97,1	95,0	50,7	—	—	—	—
2,6	69,2	104,9	105,3	93,2	15,9	—	—	—	—
3,0	77,5	108,3	102,0	83,8	—	—	—	—	—
3,4	80,3	104,6	91,1	56,3	—	—	—	—	—
3,8	73,0	92,9	67,4	7,5	—	—	—	—	—
4,2	57,9	73,7	19,9	—	—	—	—	—	—
4,6	27,3	37,0	—	—	—	—	—	—	—

Widzimy, że najwyższa praca a, jaką może wykonać płytka zgięta, wynosi 108,3 gm/sek., czyli 2,6 razy więcej niż płytka zupełnie płaska. Nadmieniamy, że bezpośrednie pomiary pracy przy pomocy hamulca potwierdziły w zupełności wyniki obliczeń. Małe zgięcie płytki przyczyniło się wskutek przesunięcia kierunku parcia r do tak znacznego zwiększenia wydajności. Jeżeli pracę tę porównamy z energią, jaką wogóle rozporządza 1 m^3 powietrza, poruszającego się z prędkością 1 m/sek., t. j. z 64 gm, to może nas w pierwszej chwili zadziwić, iż wykonana praca przewyższa tę ostatnią (o 68%). Pochodzi to stąd, że płytka czerpie energię nie tylko ze strumienia wiatru uderzającego o nią, lecz i z powietrza przechodzącego w pobliżu, które pędem swym rozrzedza powietrze z tylnej strony płytki i odgrywa poniekąd rolę rury ssawczej.

Gdy przejdziemy teraz od płytki do **śmigi wiatraka**, będziemy musieli przedewszystkiem uwzględnić, że każda część śmigi porusza się z inną prędkością obwodową n i musi mieć inne kąty pochylenia γ, by wykonać najwyższą pracę. Zwróćmy się do naszych wykresów (rys. 6) i nakreślmy styczną do wszystkich krzywych, obejmującą ją z zewnątrz („envelope"). Linia ta wskaże właśnie najwyższą pracę, jaką dać może śmiga w każdym swym punkcie przy odpowiedniej prędkości obrotowej i przy właściwym kącie pochylenia. Widzimy, iż w miarę oddalania od osi wydajność wzrasta, osiąga maximum przy $n = 3$ i prędko spada; kąty zaś pochylenia wypadają największe przy osi, najmniejsze — na końcach śmigi.

Musimy jeszcze uwzględnić dwa czynniki zmniejszające pracę obliczoną teoretycznie. Chodzi nam przedewszystkiem o **płaszczyzny oporu**, t. j. listwy, kątowniki, skrzelice (żaluzye), pałążki regulacyjne i t. p., które hamują pęd wiatru. Straty stąd wynikające nie są niczem innem, jak pracą ujemną przeniesioną przez wiatr na płaszczyzny oporu. Dadzą się one łatwo obliczyć przy pomocy tablicy VI. Jeżeli wielkość tych płaszczyzn wyrazimy procentowo w stosunku do powierzchni śmig, to na każdy 1% powierzchni oporu [1]) będziemy mieli straty wynoszące

przy $n =$	0,4	1,2	2,0	2,4	2,8	3,2	4,0
	0,2%	3,6%	7,17%	12,4%	19%	27,7%	52%

odpowiedniej pracy śmigi. A zatem straty te są tem większe, im prędzej obraca się wiatrak. (C. d. n.)

[1]) Należy to rozumieć w ten sposób, że powierzchnia przednich ścianek (gdzie powietrze zgęszcza się) wynosi 1% i powierzchnia tylnych ścianek (gdzie powietrze rozrzedza się) — 1%.

Zasady badań wydajności silników gazowych i gazowników,

opracowane przez Towarzystwo inżynierów niemieckich, Stowarzyszenie niemieckich zakładów budowy maszyn i Związek fabryk wielkich silników gazowych, w r. 1906.

(Ciąg dalszy do str. 503 w № 42 r. b.).

Badanie mocy silnika spalinowego.

33. Rodzaj, ilość i czas trwania prób należy oznaczyć według „Przepisów ogólnych" (№ 1—8).

34. Dane dotyczące ustroju i warunków działania silnika należy w sprawozdaniu z prób podać z taką dokładnością, jaka jest niezbędna do oceny sposobu działania i jego wyników, w szczególności: typ silnika i jego moc, średnice cylindrów i trzonów tłokowych, skok tłoka, objętość przestrzeni sprężenia oraz inne tu odnoszące się wymiary; liczbę normalną obrotów i dopuszczalne w niej wahania; rodzaj i wartość cieplną paliwa, do którego silnik jest przeznaczony. Średnicę cylindra i skok tłoka należy, gdy to jest możliwem, zmierzyć.

Uwaga. Objętość przestrzeni sprężenia, o ile to jest możebnem, należy oznaczyć przez napełnienie wodą. Gdy nie można podać objętości przestrzeni sprężenia, należy podać przynajmniej prężność przy pełnem obciążeniu. Oznacza się ją przez zdjęcie wykresu po wyłączeniu zapalacza.

35. Przed próbą zbadać należy wewnętrznie i zewnętrznie prawidłowość stanu silnika.

36. Liczbę obrotów silnika należy oznaczyć zapomocą licznika obrotów, którego stan znaczy się w odpowiednich odstępach czasu i co pewien czas sprawdza przez bezpośrednie liczenie obrotów.

Jeżeli mają być badane prędkości silnika, to należy oznaczyć:

1) liczby obrotów w stanie ustalenia przy największem obciążeniu i przy biegu luźnym;

2) wahania liczby obrotów przy niezmieniającem się obciążeniu;

3) o ile spada lub podnosi się liczba obrotów przy przechodzeniu od stanu ustalenia do przepisanego zwiększonego lub zmniejszonego obciążenia.

Uwaga. Te poszukiwania mogą być wykonywane zapomocą przyrządów w rodzaju tachografu Horn'a. Wahania liczby obrotów podczas całkowitego okresu ruchu (czterotakt, dwutakt i t. d.) powyżej i poniżej jej wartości średniej (stopień niejednostajności koła rozpędowego $= \frac{n_{max} - n_{min}}{\frac{n_{max} + n_{min}}{2}}$) oznaczają się w częściach rzeczonej wartości średniej, do czasu wydania innych postanowień, rachunkowo.

37. Moc użytkową można oznaczyć zapomocą hamowania mechanicznego lub na drodze elektrycznej.

Dane dotyczące wymiarów i ciężaru hamulca należy, o ile to możebne, oznaczyć przed próbą.

Pomiar elektryczny może być wykonany zapomocą prądnicy sprzężonej bezpośrednio z silnikiem gazowym. Pracę użytkową oblicza się z mocy wydatkowanej przez prądnicę. Sprawność prądnicy należy oznaczyć według jednej z metod, podanych w „Przepisach normalnych oceny i próbowania maszyn elektrycznych i przetworników", wydanych przez Związek niemieckich elektrotechników. Jeżeli do rachunku wprowadzono straty otrzymane z pomiaru, to w miejsce strat nieuwzględnionych przyjąć należy ryczałtowo 2% pracy pełnego obciążenia, jako pracę dodatkowo przez silnik wydatkowaną.

Przyrządy służące do pomiarów elektrycznych winny przed próbą i, o ile to jest możliwem, także po próbie być wzorcowane.

Uwaga. Czy oprócz rzeczonej ilości ryczałtowej ma być coś więcej jeszcze na dobro silnika zaliczone z powodu wzmożonego tarcia w łożyskach i oporu powietrza w prądnicy, to należy każdorazowo rozstrzygać. Z powodu braku dostatecznie pewnych wyników prób, nie można jeszcze obecnie orzec czy przyjęty dla silników parowych sposób oznaczania mocy użytkowej jako różnicy pomiędzy pracą wskazaną a pracą biegu luźnego, może być stosowany do silników gazowych w wypadkach, gdy pracy użytkowej nie można oznaczyć ani zapomocą hamowania ani też w drodze elektrycznej.

38. Indykatory należy zakładać bezpośrednio przy spalenisku, bez długich i ostro zakrzywionych przewodów pośrednich, a mianowicie przy każdem spalenisku jeden indykator. W tym celu każde spalenisko należy zaopatrzyć w otwór przewiercony $^3/_4''$ lub 1'' Whitworth'a. To samo odnosi się odpowiednio do cylindrów pompy.

Indykatory i ich sprężyny należy przed próbą i po próbie sprawdzać według norm Towarzystwa inżynierów niemieckich.

39. Podczas próby należy możliwie często zdejmować wykresy przy każdem spalenisku i przy cylindrach pompy. Wykresy oznacza się liczbami porządkowemi i danemi co do czasu zdjęcia, skali sprężyny i liczby oddzielnych wykresów. Należy każdorazowo zdjąć przynajmniej 5 kolejnych wykresów na jednej karcie. Od czasu do czasu należy zdejmować także wykresy słabą sprężyną przy spaleniskach.

Pracę wskazaną biegu luźnego należy zmierzyć bezpośrednio po ukończeniu próby głównej, póki silnik jest jeszcze rozgrzany. Należy przytem baczyć szczególnie na to, ażeby wykresy biegu luźnego nie były zdejmowane podczas okresu przyspieszenia czy zwolnienia obrotu koła rozpędowego.

Badanie gazu wytworzonego w gazowni lub zużytego przez silnik spalinowy albo też zużytego paliwa ciekłego.

40. Próbki do rozbioru chemicznego gazu bierze się podczas próby możliwie często, w równych odstępach czasu, i albo poddaje się je na miejscu rozbiorowi, albo też przechowuje się je w zatopionych rurkach szklanych do czasu wykonania rozbioru. Rozbiór winien wskazać zawartość w procentach objętości tlenku węgla (CO), bezwodnika węglowego (CO_2), wodoru (H_2), metanu (CH_4), ciężkich węglowodorów oraz tlenu (O_2); nadto zaleca się oznaczanie zawartości siarki (w g/m^3). Próbki gazu należy brać z przewodu między urządzeniem do oczyszczania a silnikiem.